ФИЗИКА
ВСЕРОССИЙСКАЯ
ОЛИМПИАДА
ШКОЛЬНИКОВ

Критерии оценивания
заданий
муниципального этапа
2026-2027 учебный год
9 класс

Задача 1. Заяц и черепаха

Решение

Черепаха проходит дистанцию за

$$t_{ч} = \frac{S}{v_1} = \frac{40}{1} = 40 \text{ ч.}$$

Следовательно, плановое полное время зайца равно

$$t_{з} = t_{ч} - \Delta t = 40 - 1 = 39 \text{ ч.}$$

Средняя скорость зайца на всей дистанции:

$$v_{ср} = \frac{S}{t_{з}} = \frac{40}{39} \approx 1{,}03 \text{ км/ч.}$$

Собственно бег на скорости $v_2 = 40$ км/ч занимает

$$t_{бег} = \frac{S}{v_2} = \frac{40}{40} = 1 \text{ ч.}$$

Поэтому суммарное время отдыха

$$t_{отд} = 39 - 1 = 38 \text{ ч.}$$

Каждая остановка длится 2 ч, значит

$$n = \frac{38}{2} = 19.$$

Девятнадцать остановок разделяют дистанцию на $n + 1 = 20$ одинаковых участков. Длина одного участка:

$$\Delta S = \frac{40}{20} = 2 \text{ км.}$$

Ответ:

$\boxed{v_{ср} \approx 1{,}03 \text{ км/ч}}$, $\boxed{n = 19}$, $\boxed{\Delta S = 2 \text{ км}}$.

Критерии оценивания — 10 баллов

Элемент решения	Баллы
Найдено время черепахи 40 ч и плановое полное время зайца 39 ч	2
Найдена средняя скорость зайца $40/39 \approx 1{,}03$ км/ч	2
Найдено чистое время бега зайца 1 ч	1
Найдено суммарное время отдыха 38 ч	1
Найдено число остановок $n = 19$	2
Учтено, что участков бега $n + 1 = 20$, получено $\Delta S = 2$ км	2
Итого	**10**

Задача 2. А снег идёт…

Решение

Из графика следует:

- у поверхности снега $\rho(0) = 100$ кг/м^3;
- на глубинах от 0 до 60 см плотность возрастает линейно;
- на глубине 60 см плотность достигает 350 кг/м^3;
- глубже 60 см плотность по принятой модели остаётся равной 350 кг/м^3.

Рассмотрим столб снега площадью основания 1 м^2. Масса выпавшей за зиму воды, а значит и масса всего снега,

$$m = \rho_в h_1 S = 1000 \cdot 0{,}450 \cdot 1 = 450 \text{ кг}.$$

Для верхних 60 см плотность меняется линейно, поэтому средняя плотность этого слоя равна среднему арифметическому значений на его границах:

$$\rho_{ср} = \frac{100 + 350}{2} = 225 \text{ кг/м}^3.$$

Масса верхнего слоя толщиной 0,60 м:

$$m_0 = \rho_{ср} \cdot 0{,}60 \cdot 1 = 225 \cdot 0{,}60 = 135 \text{ кг}.$$

Оставшаяся масса снега:

$$m_2 = 450 - 135 = 315 \text{ кг}.$$

Ниже глубины 60 см плотность постоянна и равна 350 кг/м^3, поэтому дополнительная толщина слоя

$$h_2 = \frac{m_2}{350 \cdot 1} = 0{,}90 \text{ м}.$$

Полная высота снежного покрова:

$$h_{\text{сн}} = 0{,}60 + 0{,}90 = 1{,}50 \text{ м}.$$

Ответ:

$$\boxed{h_{\text{сн}} = 1{,}50 \text{ м} = 150 \text{ см}}.$$

Критерии оценивания — 10 баллов

Элемент решения	Баллы
Верно описана зависимость плотности снега от глубины по графику	2
Осадки 450 мм корректно переведены в массу 450 кг на площади 1 м^2	2
Для слоя 0–60 см найдена средняя плотность 225 кг/м^3 и масса 135 кг	2
Найдена оставшаяся масса 315 кг и дополнительная глубина 0,90 м	2
Получена итоговая высота 150 см	2
Итого	**10**

Задача 3. Забеги в метрополитене

Решение

Обозначим:

- N — число ступенек неподвижного эскалатора;
- v_0 — скорость эскалатора относительно станции, выраженная в ступеньках в секунду;
- v — скорость первого бега Антона относительно ступеней.

При первом забеге вниз за время t_1 Антон проходит относительно ступеней 50 ступенек:

$$vt_1 = 50.$$

За то же время эскалатор переносит его ещё на $v_0 t_1$ ступенек, поэтому

$$(v + v_0)t_1 = N.$$

При втором забеге:

$$3vt_2 = 75,$$

$$(3v + v_0)t_2 = N.$$

Из первых уравнений

$$t_1 = \frac{50}{v}, \qquad t_2 = \frac{75}{3v} = \frac{25}{v}.$$

Следовательно,

$$N = 50 + 50\frac{v_0}{v},$$

$$N = 75 + 25\frac{v_0}{v}.$$

Приравнивая выражения, получаем

$$50 + 50\frac{v_0}{v} = 75 + 25\frac{v_0}{v},$$

откуда

$$\frac{v_0}{v} = 1.$$

То есть

$$v_0 = v.$$

Тогда

$$N = 50 + 50 = 100.$$

Теперь Антон бежит вверх относительно ступеней со скоростью $3v$, а эскалатор движется вниз со скоростью v. Его скорость относительно станции вверх равна

$$3v - v = 2v.$$

Время подъёма:

$$t = \frac{N}{2v} = \frac{100}{2v} = \frac{50}{v}.$$

За это время относительно ступеней Антон пройдёт

$$n_3 = 3vt = 3v \cdot \frac{50}{v} = 150$$

ступенек.

Ответ:

$$\boxed{N = 100}, \qquad \boxed{n_3 = 150}.$$

Критерии оценивания — 10 баллов

Элемент решения	Баллы
Введены v, v_0, N и правильно записана модель первого забега	2
Правильно записана модель второго забега	2
Получено соотношение $v_0 = v$	2
Найдено число ступенек неподвижного эскалатора $N = 100$	1
Для бега вверх найдена скорость относительно станции $2v$	1
Получено $n_3 = 150$	2
Итого	**10**

Задача 4. Пирамида кирпичей

Решение

В предельном положении центр масс каждого верхнего блока кирпичей располагается точно над краем кирпича, на котором этот блок лежит.

Для одного кирпича максимальный вынос его правого края относительно края опоры равен

$$\frac{L}{2}.$$

Для двух верхних кирпичей их общий центр масс можно расположить на краю третьего кирпича. Это добавляет ещё

$$\frac{L}{4}.$$

Для трёх верхних кирпичей относительно четвёртого добавляется

$$\frac{L}{6},$$

а вся система из четырёх кирпичей относительно края стола может быть дополнительно сдвинута на

$$\frac{L}{8}.$$

Поэтому максимальный вынос верхнего края верхнего кирпича при четырёх кирпичах равен

$$\Delta_4 = \frac{L}{2} + \frac{L}{4} + \frac{L}{6} + \frac{L}{8} = \frac{L}{2}\left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4}\right) = \frac{25}{24}L.$$

Так как

$$\frac{25}{24}L > L,$$

то ближний край верхнего кирпича также оказывается правее края стола. Следовательно, верхний кирпич можно полностью вынести за пределы стола.

Для n кирпичей

$$\Delta_n = \frac{L}{2}\sum_{k=1}^{n}\frac{1}{k}.$$

Покажем без использования высшей математики, что эта сумма не ограничена. Сгруппируем её так:

$$1 + \frac{1}{2} + \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{4}\right) + \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{1}{8}\right) + \cdots$$

В каждой следующей группе число слагаемых удваивается, а каждое слагаемое не меньше обратной величины, равной удвоенному номеру конца группы. Поэтому сумма каждой такой группы не меньше $1/2$. Число групп можно увеличивать неограниченно, следовательно, сама сумма не имеет конечной верхней границы.

Таким образом, при увеличении числа кирпичей максимальный вынос верхнего кирпича можно сделать сколь угодно большим.

Ответ: для четырёх кирпичей верхний кирпич можно полностью вынести за край стола,

$$\boxed{\Delta_4 = \frac{25}{24}L};$$

при неограниченном увеличении числа кирпичей конечного предела выноса нет.

Критерии оценивания — 10 баллов

Элемент решения	Баллы
Сформулировано условие предельного равновесия через положение центра масс над опорой	1
Получены последовательные добавочные смещения $L/2$, $L/4$, $L/6$, $L/8$	3
Найдено $\Delta_4 = 25L/24$ и сделан вывод, что верхний кирпич полностью находится за краем стола	2
Записана общая формула $\Delta_n = (L/2)\sum_{k=1}^{n} 1/k$	2

Обосновано отсутствие конечного предела (например, группировкой слагаемых)	2
Итого	**10**

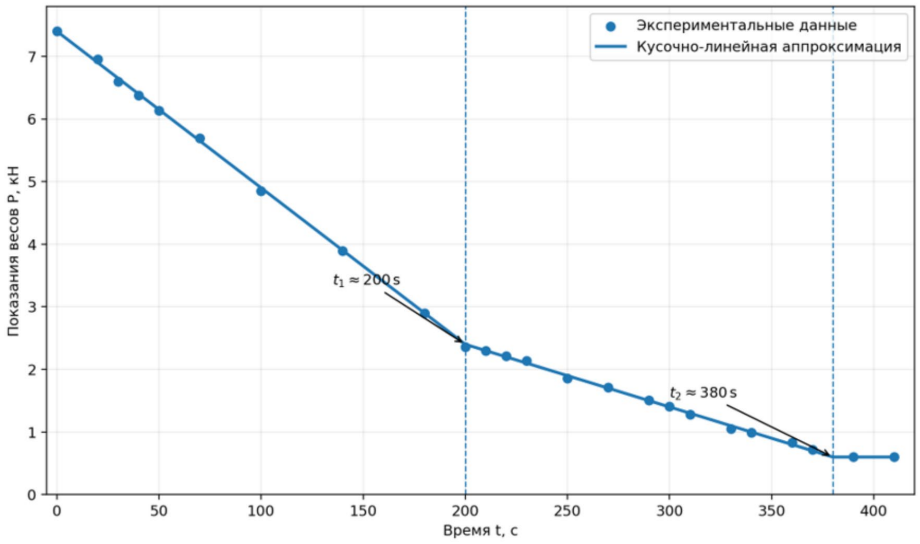
Указание для проверки. Для первого вопроса допустимо как аналитическое решение, так и корректный рисунок/описание предельной укладки с указанием положения центров масс. За эквивалентные обоснования выставляются соответствующие баллы по таблице.

Задача 5. Взвешиваем потери

Решение

1. Анализ графика показаний весов

Построим график $P(t)$. Экспериментальные точки имеют небольшой разброс, поэтому проводим через них разумную кусочно-линейную аппроксимацию.



Экспериментальные данные и кусочно-линейная аппроксимация

Хорошее приближение к данным дают зависимости

$$P_1(t) \approx 7{,}40 - 0{,}025t, \qquad 0 \leq t \lesssim 200 \text{ с},$$

$$P_2(t) \approx 4{,}40 - 0{,}010t, \qquad 200 \lesssim t \lesssim 380 \text{ с},$$

где P выражено в кН, t — в секундах. После окончания вытекания обеих жидкостей

$$P_3 \approx 0{,}60 \text{ кН}.$$

Пересечение первых двух прямых даёт момент смены вытекающей жидкости:

$$7{,}40 - 0{,}025t_1 = 4{,}40 - 0{,}010t_1,$$

$$t_1 \approx 200 \text{ с}.$$

Пересечение второго участка с плато:

$$4{,}40 - 0{,}010t_2 = 0{,}60,$$

$$t_2 \approx 380 \text{ с}.$$

Модули наклонов участков:

$$k_1 \approx 0{,}025 \text{ кН/с} = 25 \text{ Н/с},$$

$$k_2 \approx 0{,}010 \text{ кН/с} = 10 \text{ Н/с}.$$

Если через отверстие вытекает жидкость плотности ρ с постоянным объёмным расходом Q, то за время Δt масса уменьшается на

$$\Delta m = \rho Q \Delta t,$$

а показания весов уменьшаются на

$$|\Delta P| = \rho Q g \Delta t.$$

Следовательно, на линейном участке

$$\left|\frac{\Delta P}{\Delta t}\right| = \rho Q g.$$

2. Объёмный расход и плотность нижней жидкости

Начальный объём нижней жидкости:

$$V_1 = Sh_1 = 0{,}50 \cdot 0{,}50 = 0{,}25 \text{ м}^3.$$

Она полностью вытекает за $t_1 \approx 200$ с, поэтому

$$Q = \frac{V_1}{t_1} = \frac{0{,}25}{200} = 1{,}25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 1{,}25 \text{ л/с}.$$

Для первого участка

$$k_1 = \rho_1 Q g.$$

Отсюда

$$\rho_1 = \frac{k_1}{Qg} = \frac{25}{1{,}25 \cdot 10^{-3} \cdot 10} = 2000 \text{ кг/м}^3.$$

3. Толщина верхнего слоя

Верхняя жидкость вытекает в течение

$$\Delta t_2 = t_2 - t_1 = 380 - 200 = 180 \text{ с}.$$

Её объём:

$$V_2 = Q\Delta t_2 = 1{,}25 \cdot 10^{-3} \cdot 180 = 0{,}225 \text{ м}^3.$$

Тело занимает половину площади поперечного сечения верхнего слоя, поэтому площадь, доступная жидкости,

$$S - S_T = S - \frac{S}{2} = \frac{S}{2} = 0{,}25 \text{ м}^2.$$

Следовательно,

$$V_2 = \frac{S}{2} h_2,$$

$$h_2 = \frac{2V_2}{S} = \frac{2 \cdot 0{,}225}{0{,}50} = 0{,}90 \text{ м}.$$

4. Плотность верхней жидкости

Для второго участка

$$k_2 = \rho_2 Q g.$$

Поэтому

$$\rho_2 = \frac{k_2}{Qg} = \frac{10}{1{,}25 \cdot 10^{-3} \cdot 10} = 800 \text{ кг/м}^3.$$

Полученное соотношение $\rho_1 > \rho_2$ согласуется с расположением несмешивающихся жидкостей: более плотная жидкость находится снизу.

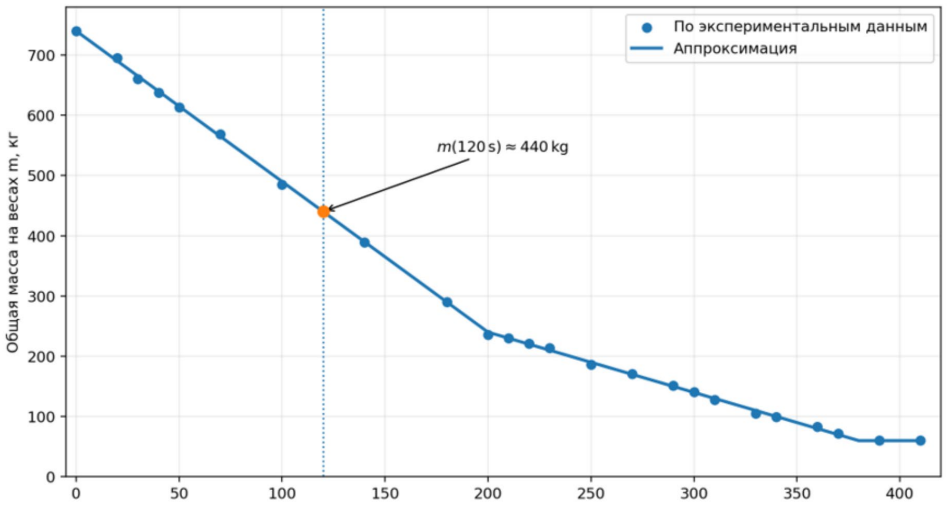
5. Общая масса при $\boldsymbol{t = 120}$ с

Так как $120 < t_1$, используем первый линейный участок:

$$P(120) \approx 7{,}40 - 0{,}025 \cdot 120 = 4{,}40 \text{ кН} = 4400 \text{ Н}.$$

Сосуд невесом, поэтому показания весов соответствуют весу тела и оставшихся жидкостей:

$$m(120) = \frac{P(120)}{g} = \frac{4400}{10} = 440 \text{ кг}.$$



Та же зависимость, представленная в единицах массы

Проверка согласованности

После вытекания всей жидкости

$$P_0 \approx 0{,}60\ \text{кН} = 600\ \text{Н},$$

поэтому масса закреплённого тела

$$m_T = \frac{600}{10} = 60\ \text{кг}.$$

Начальная масса нижней жидкости:

$$m_1 = \rho_1 V_1 = 2000 \cdot 0{,}25 = 500\ \text{кг}.$$

Масса верхней жидкости:

$$m_2 = \rho_2 V_2 = 800 \cdot 0{,}225 = 180\ \text{кг}.$$

Итого

$$m_0 = 60 + 500 + 180 = 740\ \text{кг},$$

что соответствует начальному показанию

$$P_0^{(\text{нач})} = m_0 g = 7{,}40\ \text{кН}.$$

Ответы:

$$\boxed{\rho_1 = 2000\ \text{кг/м}^3}, \qquad \boxed{h_2 = 0{,}90\ \text{м}},$$

$$\boxed{\rho_2 = 800\ \text{кг/м}^3}, \qquad \boxed{m(120) = 440\ \text{кг}}.$$

Дополнительно:

$$Q = 1{,}25 \cdot 10^{-3}\ \text{м}^3/\text{с} = 1{,}25\ \text{л/с}, \qquad m_T = 60\ \text{кг}.$$

Критерии оценивания — 10 баллов

Элемент решения	Баллы
По данным или графику выделены два линейных участка и плато; выполнена разумная кусочно-линейная аппроксимация	1
Определены характерные моменты $t_1 \approx 200$ с и $t_2 \approx 380$ с	1
Найден постоянный объёмный расход $Q \approx 1{,}25 \cdot 10^{-3}$ м^3/с	1
Получена связь $\lvert\Delta P/\Delta t\rvert = \rho Q g$ и по первому участку найдено $\rho_1 \approx 2000$ кг/м^3	2
Учтено, что тело занимает половину площади верхнего слоя; найдено $h_2 \approx 0{,}90$ м	2
По наклону второго участка найдено $\rho_2 \approx 800$ кг/м^3	2
Правильно определена общая масса при $t = 120$ с: $m \approx 440$ кг	1
Итого	**10**

Указания для проверки

Экспериментальные точки имеют небольшой разброс, поэтому допустимы несколько отличающиеся коэффициенты сглаживающих прямых. Полный балл за соответствующий пункт следует ставить, если участник корректно использовал собственную разумную аппроксимацию и получил результаты, близкие к диапазонам

$$1{,}9 \cdot 10^3 \lesssim \rho_1 \lesssim 2{,}1 \cdot 10^3\ \text{кг/м}^3,$$

$$0{,}85 \lesssim h_2 \lesssim 0{,}95\ \text{м},$$

$$0{,}75 \cdot 10^3 \lesssim \rho_2 \lesssim 0{,}85 \cdot 10^3\ \text{кг/м}^3.$$

Для пункта 4 следует засчитывать результат, полученный по корректному считыванию или аппроксимации первого участка графика, примерно

$$430\ \text{кг} \lesssim m(120) \lesssim 450\ \text{кг}.$$

Допускаются любые физически и математически эквивалентные способы решения.

Максимум за комплект: 50 баллов.